

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: 11-134518  
(43)Date of publication of application : 21.05.1999

(51)Int.Cl.

(21)Application number : 09-301638  
(71)Applicant : MINOLTA CO LTD  
(72)Inventor : FUKUSHIMA SHIGENOBU  
(22)Date of filing : 04.11.1997  
KARASAKI TOSHIHIKO

## (54) THREE-DIMENSIONAL SHAPE DATA PROCESSOR

**(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enable a user to grasp the feature quantity of the shape of a three-

dimensional data surface by having a look at the position and size by mapping a generated texture pattern to the three-dimensional shape surface.

**SOLUTION:** In a mapping mode process, feature quantities at respective points on a solid model surface are calculated and an image corresponding to the feature quantities is pasted on the solid model surface through texture mapping. On a texture formation surface set in a texture space in the texture mapping process, a texture pattern to be pasted on the solid model X like A is formed, mapping data representing the correspondence between a texture formation surface represented as texture space coordinates and a solid model X surface represented as coordinates (viewer coordinate) in the solid model space where the texture is pasted are set, and coordinate conversion from the texture space to the solid model space is carried out to form the texture like Z.



space to the solid model space is carried out to form the texture on the solid model surface like Z

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 11-134518

(43) 公開日 平成 11 年 (1999) 5 月 21 日

識別記号	(51)Int. Cl. <sup>8</sup>	FI
G 0 6 T	17/00	G 0
	15/00	G 0
// G 0 1 B	21/20	G 0

我部検査 未精査 検査済の数 4 OL (全30回)

(21) 出題番号 特願平9-301638

(22)出願日 平成9年(1997)11月4日

(71)出國人 000006079

三ノルタ株式会社

大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号  
大阪国際ビル

人股國際七九 招拍 註冊

福嶋 茂信  
大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号

大阪国際

唐崎 敏彦  
大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号

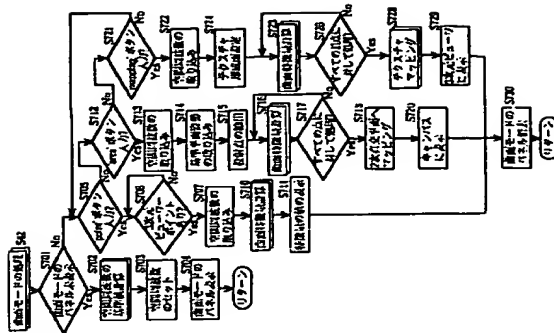
大阪国際ビル 三、

(54)【発明の名称】3次元形状データ処理装置

(57)【要約】

【解説】 3次元形状データ表面の形状上の特徴量を使用者が位置とその大きさを一見して把握できるようにすることを目的とする。

【解決手段】特許量取得手段が取得した3次元形状データにより表される3次元形状表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を用いて、テクスチャ生成手段により前記3次元形状データ表面に対比づけられたテクスチャ形成面にて、取得された各点の前期特徴量に基づき、観察的パターンを形成することによりテクスチャパターンを生成し、テクスチャパターンと前記3次元形状表面とを生成し、テクスチャパターンと前記3次元形状表面により生成されたテクスチャパターンを前期3次元形状表面にテクスチャマッピングするように構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 3次元形状データにより表される3次元形状表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を取得する特徴量取得手段と、前記3次元形状表面に対比づけられたテクスチャ形成面に、取得された各点の前記特徴量に基づき視覚的パターンを形成することによりテクスチャパターンを生成するテクスチャ生成手段と、生成されたテクスチャパターンを前記3次元形状表面にテクスチャマッピングするテクスチャマッピング手段とを有する3次元形状データ処理装置。

【請求項2】 前記特徴量取得手段は、前記3次元形状表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を計算により取得する請求項1に記載の3次元形状データ処理装置。

【請求項3】 コンピュータを、

3次元形状データにより表される3次元形状表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を取得する特徴量取得手段と、

前記3次元形状表面に対比づけられたテクスチャ形成面に取得された各点の前記特徴量に基づき視覚的パターンを形成することによりテクスチャパターンを生成するテクスチャ生成手段と、生成されたテクスチャパターンを3次元形状表面にテクスチャマッピングするテクスチャマッピング手段として機能させるプログラムを記録したコンピュータで読み取り可能な記録媒体。

【請求項4】 前記特徴量取得手段は、3次元形状データ表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を計算により取得する請求項3に記載の記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、計測対象の3次元形状データを用いて計測対象の物理的な性質を解析する3次元形状データ処理装置に関し、特に、計測対象表面の曲率等の特徴量を算出するものに関する。

【0002】

【従来の技術】近年、3次元の計測対象の物理的な性質を調べるために、計測対象をレンジファインダー等により測定対象を構成する複数の点（頂点）の空間的な位置を測定して3次元形状データとして取得し、当該3次元形状データを数学的手法を用いて解析することが行われている。

【0003】このような3次元形状データの解析においては、3次元形状データは空間的に位置を特定される点群により表されるので、3次元形状の表面にどのような凹凸があるかが一見してわかりにくい。そこで、3次元形状表面の曲率や微分値等の形状を数値特徴量を求めてこれを定量的に評価する必要性がある。従来、このような形状を表す特徴量は、XY平面上の格子点に高さの値

を持たせた3次元データに対して算出された後、XY座標における特徴量の値を表示するといった方式をとっていた。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、数値データとして特徴量を表示すると感覚的に3次元形状表面の凹凸等の変化を把握することが困難である。また、3次元形状データは3次元であるので2次元のXY座標を用いて特徴量を表示すると3次元空間形状との対応関係がわからにくく、どの位置にどのような特徴量があるのかが非常にわかりにくいと言った問題が生じる。

【0005】そこで、本発明は、3次元形状データ表面の形状上の特徴量を使用者が位置とその大きさを一見して把握できるようにする3次元形状データ処理装置を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明に係る3次元形状データ処理装置は3次元形状データによる表される3次元形状表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を取得する特徴量取得手段と、前記3次元形状表面に対比づけられたテクスチャ形成面に、算出された各点の前記特徴量に基づき視覚的パターンを形成することによりテクスチャパターンを生成するテクスチャ生成手段と、生成されたテクスチャパターンを前記3次元形状表面にテクスチャマッピングするテクスチャマッピング手段とを設けている。

【0007】また、前記特徴量取得手段は、3次元形状データ表面を構成する複数の点における形状上の特徴量を計算により取得するようにすることができ、

【0008】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。

(1) システム構成

図1に本実施の形態に係る3次元形状データ処理装置の内部構成を示す機能ブロック図を図1に示す。図に示すように本3次元形状データ処理装置は光学的測定部1、測定対象モデル化部2、ディスプレイ3、ディスプレイ4、マウス5、キーボード6、GUIシステム7、メインモジュール8、及びメモリーリングモジュール9から構成される。

【0009】光学的測定部1は例えば特開平7-174536に記載されたレンジファインダーのような装置であり、レーザ測定機器を有し測定対象を光学的に読み取る。測定対象モデル化部2は光学的に読み取られた測定対象を立体モデル化する。立体モデルと測定対象との関係を図2(a)(b)に示す。図2(a)は測定対象の一例である人体の一部を示す。この測定対象表面上の複数の点が光学的測定部1によってレーザ照射され、各点の空間座標上の位置が読み取られていく。このように読み取られた位置データをを用いて、測定対象モデル化部2

は図2(b)に示すように測定対象を立体モデル化する。立体モデル(3次元形状モデル)とは測定対象を多面体近似で表現したポリゴンメッシュデータによるモデルであり、何千個、何万個の平面から構成される。

【0010】図2(c)に示すように図2(b)の円は、図2(b)の立体モデルの円200に面する部分を拡大して表している。立体モデルを構成する個々の平面はポリゴンメッシュと称され三角形は四角形の形状を有する。なお、図2(c)の円201内には立体モデルデータが生成されていない箇所が存在する。これは光学的測定の反射光の読み取り不良によって生じた欠損部である。

【0011】立体モデルのデータ構造を図3に示す。立体モデルを表すデータは全頂点数・全ポリゴンメッシュ数の組みと、ポリゴンメッシュリストと、頂点リストとからなる。頂点リストは、各頂点に付された識別子と、各頂点の3次元座標を示すリストである。また、ポリゴンメッシュリストは、各ポリゴンメッシュに付された識別子と、各ポリゴンメッシュを構成する頂点の値と、当該ポリゴンメッシュを構成する各頂点の識別子とを示すリストである。

【0012】ポリゴンメッシュリストにおける各ポリゴンメッシュを構成する頂点の識別子の配列順序は当該立体モデルを表現側から見ると左回りになるような順序であり、これにより各ポリゴンメッシュの表裏の識別、および、立体モデルの内部・外部の識別ができるようになる。ディスプレイ3には、立体モデルデータを取得したデータファイル4は20インチ以上の広々とした表示面を有し、ここに何枚ものウィンドウを配することができ、ディスプレイ4におけるウィンドウには『ビューワー(VIEWER)』、『キャンパス(CANVAS)』、『パナール』といった三つの種別がある。ビューワーとは3次元データ表示用のウィンドウであり、キャンパスとは二次元データ表示用のウィンドウであり、パナールとは各種操作ボタンや計測値を表示するためのウィンドウである。

【0014】なお、ビューワーの表示には、レンジング処理によりその表面に陰影を付すことができ、テクスチャマッピング処理により模様・柄を張り付けることもできる。また、ビューワーの表示にはウィンドウの他に、液晶ディスプレイを具備したゴーグルタイプの3次元ディスプレイやリアルタイムロググラフィック等を用いることも可能である。

【0016】ディスプレイ4の表示例を図4に示す。本図においてディスプレイ4の表示面には、3つのビューワー201~203と、4つのキャンパス20204~20207と、2つのパナール7090が配置されている。ビューワー201には立体モデルデータの斜視像が表示され、ビューワー202には側面像

が表示され、ビューワー203は立体モデルデータの上面像が表示されている。キャンパス204~208には、立体モデルデータを切断した断面像が表示される。このようにキャンパスを複数配置しているのは、例えば、立体モデルの首回り、腰回り、胸回り等立体モデルの複数の断面を個別に表示させるためである。パナールには立体モデルの断面像情報や、距離情報や表示したり、使用者の指示を入力するためのメモリーリング処理操作パネルや、画面モード時の特徴量の表示や使用者の指示を入力するための画面モード処理用パネル等がある。

【0016】ビューワーにおける座標系と、キャンパスにおける座標系との対応関係を図5に示す。図5(b)においてビューワー系の座標は立体モデルデータの左下を原点としている。これに対してキャンパスにおける座標系は基準平面と呼ぶ仮想的な平面体の中心を原点とし、この平面上に設定されるX軸、Y軸を基準とする座標系を形成する。この基準平面は使用者が立体モデルのどの部分を計測し、修飾するか等を指定するために用いる仮想的な平面体であり、ビューワーにおいて立体モデルと共に表示される。なお、基準平面の表側にあるポリゴンメッシュは座標において正の座標値をとり、裏側にあるポリゴンメッシュは座標において負の座標値をとるようにしている。

【0017】基準平面について図6、図7を参照しながら説明する。図6(a)に示すように基準平面の中心位置には、キャンパス座標系のX軸Y軸が直交している。直交点がキャンパス座標系における原点となる。これらのX軸Y軸2軸は基準平面と共に設定され、さらに各軸は区別が容易なように異なる色に設定され、さらに、その正の部分と負の部分でも異なる色となるようにしてある。

【0018】図6(a)に示す基準平面は図6(b)に示すデータ構造で表現される。即ち基準平面は、法線ベクトル(p,q,r)と、ビューワー座標系で表された中心位置の座標(Xa,Ya,Za)と、線幅Lと、傾斜Lとを対応づけたデータ構造で表現される。ビューワー座標系において基準平面上の任意の座標(X,Y,Z)と法線ベクトル(p,q,r)との間にはp(X-Xa)+q(Y-Ya)+r(Z-Za)=0の関係が成立する。

【0019】また、基準平面は6自由度(3次元空間における位置と姿勢)を持つ。即ち、図7(a)に示すように、基準平面の姿勢は、使用者の操作に応じてよい2軸回りの矢印Rx,Ry,Rz方向に回転し、図7(b)に示すように、基準平面の位置はX軸Y軸Z軸の矢印mx,mym,z方向にスライドするようにしてある。マウス5及びキーボード6は、キャンパスやビューワー内の位置の指定や、各パナールに設定されるボタンを指示し、数値を入力するための入力装置である。【0020】GUIシステム7はイベント管理を行い、デ

続いて、図8のメジャーリング処理の内容について詳述する。図9に、メジャーリング処理のメインフローチャートを示す。メジャーリング処理に移行するとディスプレイ4には図10に示すようなメジャーリング処理操作パネル70が表示され、イベント待機状態となる。メジャーリング処理は、図のメジャーリング処理操作パネル70に対するボタンのクリックに応じて各種モードを起動する。

【0026】図10に示すようにメジャーリング処理操作パネル70は、使用者の指示を受け付けて各種モードを起動すべく次のようなボタンを有する。即ち、(1)基準平面により立体モデルを仮想的に切断しその切断面の断面積や断面長を計算する切断モードを起動するための切断モード起動ボタン71、(2)立体モデルの2点間の距離や、表面上の経路長を求める距離モードを起動するための距離モード起動ボタン72、(3)立体モデル表面の特微量を求める曲面モードを起動するための曲面モード起動ボタン73、(4)立体モデルの欠損部分を自動的に修復する修復モードを起動するための修復モード起動ボタン74が設けられている。

【0027】さらに、使用者の指示を受けつけるためのボタンとして基準平面を移動させるための基準平面移動ボタン76、基準平面を回転させるための基準平面回転ボタン77、立体モデルをロードするための立体モデルロードボタン78、処理を終了するためのメジャーリング処理終了ボタン79を有している。また、使用者に測定結果を表示するために、形状モデルのビューワー座標系におけるX、Y、Z方向の大きさを示すモデルサイズ表示部81、基準平面に切断された立体モデルの切断面の周囲長と断面積を表示する断面情報表示部82、2点間の直線距離や経路長を表示する距離情報表示部83を有している。

【0028】使用者はマウスやキーボードを操作して、メジャーリング処理操作パネル70上の各ボタンにカーソルを移動させ指示を入力する。ここで使用者のボタン操作によりイベントが入力されると、ステップ31～ステップ38の判定ステップの羅列に移行し、何れかのステップにおいて「Yes」になるまで判定が実行され、図9に示すように図8のメジャーリング処理のメインフローチャートに示すようなメジャーリング処理に移行する。

【0029】(3-1) 基準平面表示処理  
基準平面表示処理は、基準物体がビューワーに表示されている場合図9のステップ31を介して実行される。本3次元形状データ処理装置が起動した状態では、基準平面が未表示であるから通常はステップ31に移行して基準平面表示処理がなされる。この基準平面表示処理は、立体モデルのサイズに基準平面を適合させて表示することを主眼としている。

【0030】立体モデルとの適合が如何に行われるかを図11のフローチャートを参照しながら説明する。まず、図11のフローチャートに示す頂点リストからX座

標Y座標Z座標の最大値、最小値を探索する。ステップ102では、探索された最大値、最小値から立体モデルのXYZ各方向のサイズを計算する。ステップ101によって既に頂点の座標の最大値、最小値が探索されているから、これらに基づいて立体モデルデータの線のサイズ及び線のサイズが算出される。算出された各サイズは図10に示すメジャーリング処理操作パネル70上のモデルサイズ表示部81に表示される。

【0031】ステップ102の実行後、ステップ103においてプロセッサ10は計算された立体モデルの線のサイズ及び線のサイズに合うように基準平面のサイズを決定する。ここでは、基準平面の1辺を立体モデルのXYZ各方向におけるサイズの最大値に1.1倍を掛けた長さとする。ステップ103の実行後、ステップ104大値、最小値を用いて立体モデルデータの中央に据えた状態を計算し、その中心位置を算出する。ここで算出された位置が基準平面の中心位置となる。ステップ104が終了するとステップ105においてプロセッサ10はビューワーにおける中心位置に基準平面を据える。最後ビューワーに基準平面が立体モデルデータの中央に据えた状態でビューワー上に表示される。この際、基準平面の各軸の正負をそれぞれ色分けして表示する。

【0032】(3-2) 基準平面移動・回転処理  
使用者によりメジャーリング処理操作パネル70の基準平面移動ボタン76又は基準平面回転ボタン77が操作されると、図9のステップ32より、基準平面移動・回転処理に移行する。基準平面は使用者が立体モデルのどの部分を計測し、修復するかな等を指定するためのものであり、この表示された基準平面は使用者の意図に従って移動および回転させられる。図12に基準平面移動・回転処理のフローチャートを示す。

【0033】基準平面移動・回転処理には、基準平面回転ボタン77により起動される基準平面の姿勢を変える処理(1)と、基準平面移動ボタン76により起動される基準平面の位置を変える処理(2)とがある。(1)における回転量及び(2)における移動量は使用者により入力されるイベント量によって決定される。イベント量は、ここでは図13に示す基準平面回転ボタン77、基準平面移動ボタン76をクリックすると表示される回転・移動量入力パネル90を用いて使用者がイベント量を入力する。具体的には、使用者は回転・移動量入力パネル90の各座標の入力位置をカーソルで指示して所望の値をキータイブすることでイベント量を入力する。

【0034】基準平面移動・回転処理では、まず、ステップ111においてこの使用者により入力されるイベント量が検出される。入力されたイベント量は各座標ごとに表示部91、92、93に表示される。使用者が決定ボタン94をクリックすると表示された入力値が確定されイベント量が受け付けられる。なお、イベント量の入

力はマウス5の進行操作により得られるマウス5に内蔵される球体の回転量を用いてもよい。

【0035】次に、ステップ112において基準平面回転ボタン77がクリックされた状態あるか否かが判断される。ここで、基準平面回転ボタン77がクリックされて状態である場合は回転量の入力がされたと判断され、ステップ113に移行する。ステップ113でプロセッサ10はステップ111において検出されたイベント量に基づいて各基準平面周りの回転量を計算する。ステップ113の実行後ステップ114に移行し基準平面を各基準平面周りにそれぞれ計算された回転量だけ回転する(図7(a)参照)。最後に、ステップ118に移行し、基準物体を回転により得られた姿勢により再表示する。その後、図9に示すメインルーチンへ戻る。

【0036】ステップ112でNoと判断されると、ステップ115へ移行し基準平面移動ボタン76がクリックされた状態であるか否かが判断される。ここで、基準平面移動ボタン76がクリックされた状態である場合は移動量の入力がされたと判断され、ステップ118に移行し、基準平面移動方向の移動量を計算され、さらに、ステップ117で計算された移動量を基準平面の中心座標における原点座標値に加算される。即ち、ビューワー座標系における基準平面の中心座標値(Xa, Ya, Za)とすると、これにステップ35で算出された移動量が新たに加算される。これらの処理により、基準平面の位置はイベント量に応じて自在にスライドすることになる(図7(b)参照)。その後、やはりステップ57に移行し、基準物体を移動した位置に再表示し、図9に示すメインルーチンへ戻る。

【0037】以上のような動作により、使用者の指示に応じて基準平面と立体モデルの交叉角度を自由に設定することができ、基準平面を自在にスライドさせることにより、立体モデルの切断位置を自在に切り替えることができる。

(3-3) 切断モード処理

図9のメインフローにおいて切断モード起動ボタン71が操作されるとステップ40の切断モード処理に移行する。図14に切断モード処理を教すフローチャートを示す。図14のフローチャートに示すように、切断モード処理ではステップ61における断面データ計算処理で基準平面を切り口とした立体モデルデータの断面データを計算し、ステップ62の断面表示処理において計算された断面データに基づいてキャンパス上に断面像を表示する。それからステップ63の断面像決定処理において断面データに基づいてその断面像を計算し、ステップ64の輪郭長測定処理においてその断面の輪郭長を測定する。最後にステップ65の断面像・輪郭長表示ステップにおいて、断面像及び輪郭長を表示する。上記の各処理については以下にさらに詳述する。

イスプレイ4におけるキャンパス及びビューワーの割り当てや、各種メニューを割り当てを制御する。メインメニュー8は、メインルーチンの手順を記述した実行形式のプログラムであり、メジャーリングモジュール9は、メインルーチンから分岐するメジャーリング処理や、その他の処理の手順を記述した実行形式のプログラムである。これらのモジュールはディスク装置3からメモリ上にロードされ、プロセッサ10によって逐一実行される。

【0021】プロセッサ10は、解読器、ALU、各種レジスタを具備した集積回路でありメインモジュール8、メジャーリングモジュール9の内容に基づいて各種3次元データ処理を制御する。なお、上記3次元データ処理装置は、光学測定部1のデータを入力できるようにし通常のコンピュータを用い、当該コンピュータに以下に示す動作・機能を行わせるようなプログラムを内蔵させることによっても実現可能であり、当該プログラムはCD-ROMのような当該コンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録することができる。

【0022】(2) 制御動作の概要

次に、図8のメインフローチャートを参照しながらメインモジュール8に基づいたプロセッサの制御内容について説明を行う。まず、ステップ10でプロセッサ10は、ハードウェアの初期化や各種ウィンドウの表示等の初期設定を行う。初期設定後、ディスプレイ4には立体モデルデータ取り込み処理、メジャーリング処理、その他の処理の何れを実行するかを使用者に問うI/Pメニューを表示する。ここで使用者が立体モデルデータ取り込み処理を選択するとステップ111がYesになりステップ112に移行する。

【0023】ステップ12ではプロセッサ10は光学的測定部1を起動し、光学的測定部1により測定対象にレーザを照射させ、その反射光を測定させる。レーザ照射が済むと、測定対象モデル化部2に測定結果に基づいて立体モデルデータを生成させる。これにより図2の説明に示したような立体モデルデータが生成される。このように立体モデルを生成すると、ステップ17においてプロセッサ10は生成した立体モデルデータをビューワーに表示する。ステップ17によりディスプレイは、図4に示した表示例のような画面になる。この画面におけるカーソル位置は、GUIシステム7のイベント管理によって適宜移動する。

【0024】また、使用者が立体モデルデータの計測、修復処理を選択するとステップ13がYesとなり、ステップ14へ移行する。この処理の内容については後に詳述する。使用者がこれら以外の処理を選択すると、S15がYesとなり、ステップ16へ移行し、プロセッサ10はデータの削除、交換等の加工処理や、立体モデルの回転、移動等の処理を行わせる。

【0025】(3) メジャーリング処理

【0025】(3) メジャーリング処理

【0038】(3-3-1) 断面データ計算モード  
「断面データ」とは基準平面-立体モデル間の交点、これらの交点を結ぶ線分列によって立体モデルの断面を表現した情報である。断面データの算出の手順は図15から図17までのフローチャートで表現される。図15(a)(b)のフローチャートにおいて「断面」とは基準平面上に得られた複数の断面データのそれぞれを指示する変数である。断面データ計算処理では、まず、プロセス10はステッパ20においてポリゴンメッシュの頂点座標をキャンパス座標系に変換する。それから、ステッパ202では線分のつながり合わせ処理を行うため、図15(b)のフローチャートに分散する。図15(b)のフローチャートのステッパ301では「交点」と同士の連結処理を行うため図16のフローチャートに分散し、ステッパ302では「線分列の連結処理」を行うため図17のフローチャートに分散する。

【0039】(3-3-2) 交点同士の連結処理  
図16に示す「交点同士の連結処理」は、立体モデルと基準平面との交点座標の算出し、算出された交点間を結ぶ線分を生成する。交点同士の連結処理では、まず、ステッパ403においてプロセス10は、1つのポリゴンの頂点座標を組み合わせて1座標の横(このように座標はキャンパス座標系の2座標である。)が負であるかを判定し、負の場合は当該頂点を結ぶ線分とXY平面との交点を求める。即ち、座標の横が負であることはその組み合わせの頂点が、基準平面を介して対向していることを示す。例えば、図18(a)に示すような関係にある場合、ポリゴンメッシュP1、P2、P3、P4、P5の頂点の組み合わせのうち、組み合わせ2601、組み合わせ2602、組み合わせ2603の頂点は基準平面を介して対向しているため座標は正負が反転し、その横は負になる。そこで、これらの組み合わせの頂点同士を直線で結び、図18(b)において「×」印に示すような基準平面との交点の座標を求める。以上の処理を全てのポリゴンメッシュの頂点組み合わせについて終了すると、図18(c)に示すように、基準平面上に複数の交点を得ることができる。

【0040】続いて、ステッパ405においてプロセス10は1つのポリゴンについて交点が2つ生成したかを判定し、もしそうであればステッパ406においてプロセス10はその交点を結ぶ線分を生成する。例えば、図19(a)に示すように、ステッパ402の処理で基準平面上に交点が得られたとすると、交点Y2701、Y2702は両方とも図18に示したポリゴンメッシュP1の交点であるので、図19(b)に示すように、これらを結ぶ線分Y2710生成される。同じく交点Y2702、Y2708もポリゴンメッシュP2の交点であるので、これらを結ぶ線分Y2711が生成される。

【0041】(3-3-3) 線分列の連結処理  
交点同士の連結処理が終わると線分列の連結処理へ移行する。「線分列」とは基準平面上の立体モデルの輪郭線を表現するための折れ線であり、交点同士の連結処理で生成した線分をつなぎ合わせることによって生成する。図17に「線分列の連結処理」の具体的な手順を示す。本フローチャートにおいて「線分列」とは基準平面上の個々の線分を指示するための変数であり、「線分列1」とは線分1を含む線分列を指示するための変数である。

【0042】線分列の連結処理では、まず、ステッパ502で線分1について端点座標と一致する端点を有する線分が存在するかを判定する。かかる線分が存在する場合は線分を含む線分列 $i$ を抽出し、線分を線分 $i$ に連結する。以上の処理が全ての線分 $k$ ( $k=1,2,\dots,n$ )について繰り返されると、例えば図19(b)に示す線分群は、図19(c)に示すように基準平面上の折れ線状の線分列となる。なお、図19(c)においてY2704、Y2705、Y2706、Y2707間では直線で結ばれていない。これは欠損部が基準平面上に表れた結果である。

【0043】(3-3-4) 断面データ判定処理  
「線分列の連結処理」を終えると、図15(b)のステッパ303に移行して、全ての断面 $i$ が閉じているのか、開いているかを判定する。ステッパ305においてプロセス10は、断面 $i$ について線分列の始点と終了点とが一致もしくは所定距離の範囲内にあるかを判定する。もしそうであれば、ステッパ306に移行してこれを閉じた断面とみなし、当該断面 $i$ について断面フラグFiを断面が閉じていることを示す0に設定する。一方、図19(c)の交点Y2704-交点Y2705、交点Y2706-交点Y2707間のように線分列の始点と終了点間が所定距離以上離れていればステッパ307において最寄りの線分列を探索する。探索で線分列が見つかったと、ステッパ308においてプロセス10は線分列との距離が所定値以上開いているかを判定する。もし、所定値以上開いていなければ当該線分列と接線して再びステッパ305に戻る。一方、所定値以上開いていれば、ステッパ310に移行し当該断面 $i$ について断面フラグFiを断面が開いていることを示す1に設定する。以上の処理を全ての断面 $i$ ( $i=1,2,\dots,n$ )について終了すると、図15(a)におけるステッパ203に戻る。ステッパ203では、断面データの頂点をキャンパス座標系に変換する。ステッパ203の実行後、ステッパ204に移行して断面の輪郭を作成する。

【0044】(3-3-5) 断面表示処理  
図14のステッパ602の断面表示処理では線分の連結体として表現された輪郭線を断面像としてキャンパスに表し、この表示において、前記断面フラグFiを参照して、輪郭線が閉じた断面が開いた断面かによって表示を変える。即ち、 $Pi=0$ で輪郭線が閉じた断面である

場合は、当該断面を「緑線色」で断面内面を塗り塗りし、キャンパスの1つに表示する。この塗り漏しは、既存のグラフィックスシステムで実装されている色彩変換アルゴリズムで簡易に実現される。一方、 $Pi=1$ で輪郭線が開いていれば「灰色」で断面を示す文脈のみを表示する。これは上記の色彩変換アルゴリズムで輪郭線が開いている断面内を塗り塗りすると断面外の部分をも誤って塗り塗りしてしまうからであり、基準平面の交線を異なる色で描画するのみに留めるものである。

【0045】(3-3-6) 断面線測定処理  
図14のステッパ603の「断面線測定処理」では、基準平面における断面線が多角形近似で計算する。即ち、図20(a)に示すような断面を構成する交点を算出されている場合、図20(b)に示すように隣合う交点と原点により構成される三角形の面積(Sum1、Sum2、Sum3...)を総和することにより断面線を計算する。各三角形の面積は原点から隣り合う交点へ向かうベクトルの外積もとに計算する。なお、原点が断面の外側に位置する場合、断面の輪郭の外側に接するベクトルにより形成される三角形の面積は負の値に、断面の輪郭の内側に接するベクトルにより形成される三角形の面積は正の値にすることにより断面線を得ることができる。

【0046】(3-3-7) 輪郭線測定処理  
図14のステッパ604の「輪郭線測定」では、断面の輪郭線を折れ線長(線分列長)に近似して計算する。例えば図20(a)のように交点が得られている場合には、隣合う交点により構成される各線分の和( $Len1+Len2+Len3+Len4+\dots$ )により輪郭線長が算出される。なお、断面が開いている場合は、輪郭線の始点・終点間の距離を輪郭線Lenを加算する。

【0047】以上の処理が終わると、図14のステッパ65により算出された断面像及び輪郭線をメジャーリング処理操作パネル700の断面情報表示部82に有効数字4桁で表示して切断モード処理を終える。

(3-4) 距離モード処理  
図9のフローチャートにおいて、メジャーリング処理操作パネル700の距離モード起動ボタン72が操作されると、ステッパ41の距離モード処理へ移行する。距離モード処理では、立体モデルデータが置かれた3次元空間における所望の距離が測定される。

【0048】ここでは立体モデル中の2点間の直線距離と、立体モデル表面上を通る経路の長さを測定するものとし、さらに、経路長は、一平面上に存在する経路の最長と、一平面上に存在しない経路の長さの2種類に分けて処理を行う。図21に距離モード処理を致すフローチャートを示す。まず、距離モードが起動すると、ステッパ601により図22に示す選択用パネル130がポップアップ表示される。選択用パネル130には2点間の直線距離を求めるモードに設定する2点モードを起動する2点モードボタン131、立体モデル表面の一平面

上に存在する経路長を求める3点モードを起動する3点モードボタン132、立体モデル表面の一平面上に存在しない経路長を求めるN点モードを起動するN点モードボタン133、処理を終了するためのキャンセルボタン134が設けられている。次にステッパ602でこの選択用パネル130に対するモードの入力を持って、入力されたモードに応じた処理へ移行する。

【0049】(3-4-1) 2点入力モード処理  
選択用パネル130から2点モードボタン131が操作されると、2点間の直線距離を求めるために、ステッパ604で始点と終点の2点の入力が在るか否かを判断し、入力されていない場合はステッパ605で入力を受け持つ。このモードにおける点の入力は使用者がビューワーに表示されている立体モデル表面上の一点をクリックするか、キャンパスに指定されている輪郭線上の一点をクリックすることにより行われる。

【0050】2点の入力を受け付けるとメインルーチンへ移行し、再びステッパ604へ戻る。ここでは2点の入力がされているので、ステッパ606で当該2点の座標値から2点間の距離が算出され、ステッパ607でメジャーリング処理操作パネル700の距離情報表示部83に、算出した値が表示される。

(3-4-2) 3点入力モード処理  
選択用パネル130より3点モードボタン132が操作されると、ステッパ608より立体モデル表面の一平面上の経路長を求める3点入力モードへ移行する。ここでは、まず3点の入力を受け付け、入力されていない場合は立体モデルの3点の入力を受け持つ。3点モードにおける点の入力は、使用者がキャンパスに指定されている断面の輪郭線上の始点と終点と通過点をクリックするか、ビューワーに表示されている立体モデル表面の始点と終点と通過点をクリックすることにより行う。

【0051】以下に、この3点の入力について具体的に説明する。まず、キャンパスに表示されている断面の輪郭線から入力する場合は、使用者はキャンパスに指定されている断面の輪郭線上から始点と終点となる2点をクリックする。例えば、図23(a)に示すような断面40がキャンパスに指定されているとすると、使用者は断面の輪郭線上の点41、点42をクリックすることで始点と終点を入力する。始点と終点が入力されると、この2点を始点・終点とする経路は経路44aと経路44bの2つとなる。そこで、使用者は最後にこのいずれかの経路を選択すべく、通過点として点43をクリックする。なお、通過点の代わりに経路の存在する側のエリアをクリックする等の方法で経路を選択するようにしてもよい。

【0052】次に、ビューワーに表示されている立体モデルの3点を入力する場合は、使用者はビューワーに指定されている立体モデルの表面上を始点終点通過点の順で、3点をクリックする。例えば、図24(a)に示すよ





の調整を行うものである。なお、ここでいう空間周波数とは、単位長さ当たりの物理的な凹凸の間隔をいうものとし、空間周波数の調整とはどの程度の凹凸を対象とし、特微量を定めるかを指定することをいう。見方を換えると空間周波数の逆数は一つは凹凸の1周期の距離を意味する。1つの凸部または凹部を形成するものとしてみなす範囲を調整しているといえる。

【0073】具体的に説明すると、空間周波数の指定、即ち距離の指定により、例えば図29(a)に示す空間周波数の逆数で規定される距離dを直徑とする円筒Cで表される範囲と立体モデルXとの交線の内、立体モデル表面部分S<sub>2</sub>の部分、図29(b)に示すように平滑化した曲面S<sub>20</sub>と見なして当該立体モデル表面S<sub>20</sub>の特微量を算出するようにする。なお、実際の計算においては範囲と立体モデル表面との交線を求める必要はなく、交線上の点数があれば足りる。

【0074】図28のフローチャートにおいて、後述する曲面モード処理用パネルが未表示の場合はステップ702側へ移行し空間周波数の調整が行われる。調整は曲面モードが起動した直後は曲面モード処理用パネルは未表示であるのでステップ702へ進む。ステップ702では空間周波数の基準値が計算される。これは立体モデルを構成する点同士の距離の平均値に於いて、特微量算出のための適当な空間周波数を定めるものである。空間周波数の基準値の算出は立体モデルの頂点群の分布密度を元に求める。図30に空間周波数の基準値を算出する処理を致すフローチャートを示す。空間周波数の基準値の算出は、まず、ステップ802で立体モデルの頂点の平均値 $\text{avr}(1/\text{Lside})$ を求める。これは、頂点を1周期とした空間周波数の平均値である。次にステップ803で、求めた平均値に $\text{avr}(1/\text{Lside})$ に補正値 $\text{Vfrag}$ を加算することによって空間周波数の基準値を算出する。なお、 $\text{Vfrag}$ は実験又は経験的に得られる値であって、ここでは $\text{Vfrag}=0.25$ を用いる。なお、空間周波数の基準値は頂点群の分布密度から求める場合に限りならず、例えば、立体モデル表面の空間周波数の内、最も相違が多いものを選択する等の方法により定めることもできる。

【0075】空間周波数の基準値が求まるとステップ703で当該値が所定記憶エリアに記憶され、曲面モード処理用パネル140が表示される。ステップ704で表示されるこの曲面モード処理用パネル140を図31に示す。曲面モード処理用パネル140は、スライダ41、空間周波数表示部142、特微量選択用ボタン44、145、146、微分方向選択ボタン147、計算値表示部148、ポイントモード起動ボタン149、エリアモード起動ボタン150、マッピングモード起動ボタン151、終了ボタン152により構成される。【0076】スライダ41は、使用者により空間周波数を調整するためのもので、スライダ片を左右にマウス

各Z座標を用いて、各頂点から測定点間での距離の逆数を重みとして補完して求める。具体的には、頂点PiのZ座標をZL(Pi)、頂点Pjから測定点までの距離をL(Pi)とすると次式で表すことができる。

【0081】

【数2】

$$f(x,y) = \frac{\sum_{i=1}^n (ZL(P_i) / L(P_i))}{\sum_{i=1}^n (1 / L(P_i))}$$

【0082】なお、 $f(x,y)$ の値はB-splineや法線ブレンドなどの手法による羽ラメトリックな曲線や曲面で近似して求めてもよい。今、測定点を $(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$ とし、空間周波数から得られる区間長をdとすると、XL軸方向、YL軸方向の微分値はそれぞれ次式で表せる。

【0083】

【数3】

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x_0+d/2, y_0) - f(x_0-d/2, y_0)}{d}$$

【0084】

【数4】

$$\frac{\partial f}{\partial y} = \frac{f(x_0, y_0+d/2) - f(x_0, y_0-d/2)}{d}$$

【0085】空間周波数により特定される区間dと $f(x_0, y_0)$ 、 $f(x_0-d/2, y_0)$ 、 $f(x_0+d/2, y_0)$ の関係を図32に示す。図32(a)はdの値を誤い値d1(高い空間周波数値)に設定した場合を示し、図32(b)はdの値を低い値d2(低い空間周波数値)に設定した場合を示す。なお、微分の計算方法はXL軸方向、YL軸方向とも同じであるので、ここでXL軸方向に

$$\kappa_g = \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) \left( \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) - \left( \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right)^2$$

【0090】いま、測定点のXL座標、YL座標を、XL

$= x_0$ 、YL $= y_0$ とすると、上式における $\partial^2 f / \partial$

$x^2$ 、 $\partial^2 f / \partial y^2$ 、 $\partial^2 f / (\partial x \partial y)$ の値は、空間

周波数から得られる区間長d(空間周波数の逆数)を用\*

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \frac{f(x_0+d, y_0) + f(x_0-d, y_0) - 2f(x_0, y_0)}{d^2}$$

【0092】

※ 【数8】

$$\frac{\partial^2 f}{\partial y^2} = \frac{f(x_0, y_0+d) + f(x_0, y_0-d) - 2f(x_0, y_0)}{d^2}$$

【0093】

【数9】

ついでに説明する。上記計算式は、測定点 $(x_0, y_0, f(x_0, y_0))$ を中心として距離dで規定される範囲で定まる点 $(x_0-d/2, y_0, f(x_0-d/2, y_0))$ 、 $(x_0+d/2, y_0, f(x_0+d/2, y_0))$ のみで算出されるので、実質的に図で示される画面上に映る曲線をC1もしくはC2のように平滑化したものと見なし、特微量を算出していることになる。即ち、区間dを小さくすればより微細な凹凸の範囲で特微量を算出でき、区間dを大きくすればより巨視的な凹凸の範囲で特微量を算出することができる。なお、ここでは曲線(曲面)を平滑化したものと同様に計算を行うが、区間dにおける曲線(曲面)を実際に平滑化処理したものと通常の微分処理をすることによりほぼ同様の結果を得ることができ、これは次の曲線の計算においても同様である。

【0086】(3-5-2b) 曲線の計算

曲率は測定点の法線方向に依存するので、測定点の法線により定まるローカルなXYLZ座標系を用いて計算を行う。具体的には図33に示すように立体モデルの測定点を頂点とし、当該測定点における法線と逆方向にZ軸をもつ座標系を用いる。なお、XL軸、YL軸はその面法線方向に設定する。また、この座標系においては立体モデル表面の測定点近傍の点の座標は $(x, y, f(x, y))$ と表せ、 $f(x, y)$ も上記方法で得ることができ。

【0087】ここで算出する平均曲率 $\kappa_m$ 、ガウス曲率 $\kappa_g$ は次式で表すことができる。

【0088】

【数5】

$$\kappa_m = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

【0089】

【数6】

⑤

※ ④

$$\frac{\partial z}{\partial x \partial y} = \frac{[x_0 d/2, y_0 d/2] + [x_0 d/2, y_0 d/2] - [x_0 d/2, y_0 d/2] + [x_0 d/2, y_0 d/2]}{d^2}$$

(8)

【0094】以上の式を用いることで、平均曲率、ガウス曲率を立体モデルの頂点データから求めることができる。なお、これらの式においても、例えばx軸方向に

0の計算値表示部148に算出された特徴量を表示してポイントモード処理を終了する。

(3-5-4) エリアモード処理

エリアモード処理では基準平面へ立体モデルを投影した場合に投影される各点の立体モデルにおける特徴量を画像として表すものである。具体的には、図35(a)に示すようにキャンパスの画像の位置に対応する基準平面Hの座標点p、pからZ軸方向へ立体モデルXに投影して得られる立体モデル上の各点(図中の二点線線より左側の面上の点)に対して特徴量を算出し、当該特徴量

【0095】(3-5-3) ポイントモード処理  
図31に示す曲面モード処理用パネル140のポイントモード起動ボタン149が操作されると図28の曲面モードのフローチャートにおいて、ステップ705を介してポイントモード処理へ移行する。ポイントモードでは、まず、ステップ708で使用者によるビューワで立体モデル表面の測定点の指定を得る。測定点が指定されるとステップ707で現在の空間座標値、即ち、曲面モード処理用パネル140の空間座標値表示部142に表示されている空間座標値の値を取り込む。

【0096】次に、ステップ710で曲面の特徴量が算出される。曲面の特徴量を計算する処理を図34のフローチャート140の特徴量計算処理によって選択される。平均曲率、ガウス曲率の別に応じて処理を変え、まず、プロセッサ10は選択されている特徴量が曲率か否かを判断する。ここで、曲率が選択されていない場合は、曲面が選択されているので、ステップ909へ移行し、曲面が選択されているので、曲面モードとして設定する。そしてステップ910で、曲面モードとして設定する。その特徴量を求める座標系として設定する。140の微分方向選択ボタン147で設定されている方向に従って、式(8)を用いて測定点の微分値を計算する。

【0097】一方、ステップ901で曲面が選択されている場合は、まず、ステップ902で測定点における法線ベクトルを求め、ステップ903で求めた法線ベクトルから図33に示すようなX、Y、Zの座標系を設定する。次に、ステップ906で求める曲率は平均曲率か否かが判断される。ここで平均曲率を求める場合は、ステップ907において式(9)、(10)、(11)を用いて、測定点における平均曲率を求める。一方、平均曲率でない場合はガウス曲率が選択されているので、ステップ908において式(12)、(13)、(14)を用いて、測定点におけるガウス曲率を求める。

【0098】上記のようにして曲面の特徴量計算処理が終了すると、ステップ711で曲面モード処理用パネル14

【0101】なお、ここでは、キャンパスの画像位置に対応する基準平面の座標点から立体モデルへ投影した点を求め、当該点の特徴量により表される濃淡を対応する画像に表すようにした。だが、これは立体モデルの各頂点を基準平面に投影して各頂点の座標平面における対応点を求め、各頂点の特徴量から各頂点の濃淡を算出し、当該濃淡を用いて各点に囲まれる部分の濃淡を補完して求め表示するようにすることもできる。

【0102】(3-5-5) マッピングモード処理  
マッピングモード処理では立体モデル表面上の各点における特徴量を算出し、当該特徴量に応じた画像を立体モデル表面上にテクスチャマッピング処理を行って、当該画像を立体モデル表面に張り付けられるものである。テクスチャマッピング処理は、図36に示すように、テクスチャ空間に設定されるテクスチャ形成面Aのような立体モデルXに張り付けられるテクスチャパターンの形成し、テクスチャ空間座標で表されるテクスチャ形成面とテクスチャ空間座標で表される立体モデル空間の座標(ビューワ座標)を張り付ける立体モデル空間の座標をマッピングデータで表される立体モデルX表面との対応をマッピングデータを設定し、これを元に、テクスチャ空間から立体モデル空間へ座標変換を行って2のようテクスチャを立体モデル表面に形成するものである。

【0103】ここでは、テクスチャ空間座標として座標系を、テクスチャ形成面として座標面を用いる。テクスチャ形成面として座標面を用いるのは、ここでは3次元面上の全体にテクスチャマッピングをするために2次元座標系における平面を適切でないからである。もつとも、適切なマッピングを行うならば2次元座標系における平面もテクスチャ形成面とすることができ、その他、円筒上のテクスチャ形成面毎々のテクスチャ形成面を用いることができる。

【0104】座標空間の座標面と立体モデルとのマッピングデータは次のようにして与えられる。今、図37に示すようにビューワ座標系の立体モデルXに対して、テクスチャ形成面である座標面Sが取り囲んでいるものと半座をbとbとしている。また、ビューワ座標系の原点と座標系の原点は一致するものとし、当該原点は立体モデル内部にあるものとする。もし、原点が立体モデル外にある場合は、立体モデルを平行移動させて、原点が立体モデル内に位置するようにする。

【0105】マッピングを行うために、まず、座標系を一致させる必要がある。そこで、まず、ビューワ座標系(x, y, z)を、座標系(r, θ, φ)に変換する。この変換は式(15)で与えられる。

【0106】  
【数10】

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$
$$\theta = \begin{cases} \cos^{-1}(z/r) & (y \geq 0) \\ 2\pi - \cos^{-1}(z/r) & (y < 0) \end{cases}$$
$$\phi = \begin{cases} \cos^{-1}(x/r \sin \theta) & (z \geq 0) \\ 2\pi - \cos^{-1}(x/r \sin \theta) & (z < 0) \end{cases}$$

【0107】この変換により立体モデルデータの頂点の座標を座標系に変換する。これからマッピングデータは次のように与えられる。即ち、図37に示すように原点Oから立体モデルX上の点Pを通る直線が座標系Sと交わる点Pbを、当該立体モデル上の点Paと対応する点としてマッピングデータを与える。図37に示すように、PaとPbはrの値のみ異なり、θ、φの値は一致する。つまり、立体モデルデータの頂点を座標系に変換したとき、角座標θ、φがそのまま座標系上の対応点のマッピングデータになる。なお、rは一定であるので結局は定める必要はなくなる。

【0108】マッピングモード処理の具体的な動作を以下に説明する。図31に示す曲面モード処理用パネル140のマッピングモード起動ボタン151が操作されると図28の曲面モードのフローチャートにおいて、ステップ721を介してマッピングモード処理へ移行する。空間座標値を取り込む。それから、立体モデルの頂点の1つずつについて曲面の特徴量計算処理が行われる。この処理も、ポイント処理モードにおいて説明した図34のフローチャートと同じ処理である。全ての処理について特徴量の算出が完了すると、ステップ728でテクスチャマッピング処理が行われる。

【0109】図38にテクスチャマッピング処理を設すフローチャートを示す。テクスチャマッピング処理では、まず、前述したように立体モデルの頂点のビューワ座標(必要に応じて平行移動しておく)を座標系に変換する。そして、座標系に変換後の各頂点のθ、φの2成分で表される2次元座標位置に当該頂点の特徴量に応じた当該頂点の座標値及びRGBデータを設定する。なお、座標値及びRGBデータの設定の仕方は、エリアモード処理の場合と同様である。また、ステップ1004でビューワ座標系と座標系の角度成分間の対応をマッピングデータとして保存しておく。ステップ1002から1004の処理を全ての頂点について行くと、ステップ1006で頂点以外の面上の画像パターンを頂点に設定された画像パターンを用いて補完して求める。具体的に、ポリゴンメッシュを構成する頂点に囲まれる面上の点について、各頂点の濃度を距離に応じて重み付けをし

て、平均をとることにより算出する。これにより完全なテクスチャパターンがテクスチャ形成面にデータとして形成されることになる。

【0110】以上の処理が終わると、マッピングデータを基づいてデータとして得られているテクスチャパターンを立体モデル表面に張り付けビューワーに提示して処理を終了する。なお、ここでは立体モデルの各頂点とテクスチャ形成面とをマッピングし、各頂点の座標値から得られる座標値から各頂点に対応する点に照準する面のテクスチャパターンを指定することで行った。だが、これは10テクスチャ形成面の十分に細かく均等に選んだ座標値と立体モデル表面とをマッピングして対応する立体モデル上の点を求め、求められた点における特徴量を算出して、各点に対応するテクスチャ形成面上の点に当該特徴量を対応した座標を形成することで行った。テクスチャパターンを形成する上では、テクスチャ形成面の特徴量を空間周波数を調整しながら、数値として算出し、さらに画像として視覚的に表示することができる。

【0111】なお、ここでは図29に示されるように空間周波数をより得られるdの値に規定される円筒上の断面と立体モデル表面との交線に照準する立体モデル表面を平滑化した曲面と見なし特徴量を算出したが、この範囲は円筒ではなくdを半径とする球とすることもできる。この場合の図32のXYZ平面に対応する図を図39に示す。

【0112】図39では、測定点を中心として直線をdとした球(円)と立体モデルとの交点からf(xa, y0)、f(xb, y0)を求めようとしている。そして、これを用いて測定点の特徴量を求めるようにすることができる。このようにすると、頂点間の距離のばらつきに係わりなく、測定点から立体モデル表面の均等な距離の範囲内の特徴量を算出するためのデータとして用いることができる。

【0113】また、エリアモード処理およびマッピング処理においては、速度を速くすることで特徴量を視覚的に表示したが、これは色を変えたりハッチングやトーンのパターンを変えたりすることで視覚的に表示するようにすることができる。さらに、形状より得られる特徴量として、ここでは微分値と曲率を用いたが、これは他の特徴量を用いてもよく、例えば、次式で表されるラブラシアナ $\Delta$ などを算出するようにしてもよい。

$$\Delta = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$$

【数11】

【0115】ラブラシアンは3次元におけるエッジの強さを表す。この他にも、平滑化した曲面を表す多項式の特定の係数や、曲率等の平均などを特徴量としてもよ

い。

(3-6) 修復モード処理

修復モード処理では、立体モデルの欠損部分を自動的に修復する。修復モード処理の基本的な考え方を図40を用いて説明する。例えば、図40(a)に示すように、立体モデルデータXにある軸方向を法線とする複数の平面で切断する。すると、前述した切断モード時と同様の計算により複数の断面データ(輪郭)を得ることができ、図15(b)の線分のつなぎ合わせ処理のフローチャートにおいて線分がつなぎ合わせないことになり閉じてない断面と判断することが可能である。そして、このように閉じてない断面の隙間は輪郭を補完すること、閉じた断面に修復することができる。その後、やはり断面データを3次元空間に並べて断面間にポリゴンが発生させると立体モデルX\*が得られる。切断平面の間隔を十分に小さくすれば、この立体モデルX\*はほぼ元の立体モデルXと同じでしか欠損部分が修復されていることになる。

【0117】なお、この手法で重要なのは切断面の法線方向の取り方であり、欠損部分を適切にスライズできるような方向に設定することが重要である。そこで、ここでは、基準平面のZ軸方向を切断面の法線方向とし、使用者が適切な方向を設定できるようにしてある。図9のメジャーリング処理のフローチャートにおいて修復モード移動ボタン74が操作されるとステップ43の切断モード処理へ移行する。図41に修復モード処理の動作を示すフローチャートを示す。修復モード処理では、まず、ステップで使用者が設定した基準平面の姿勢の取り込みを行う。次に立体モデルのZ軸方向の高さを求め、この高さから切断平面の間隔を求める。ここでは、得られた高さの1/1000としている。

【0118】次に、ステップ1105で1の刻み幅を持つ立体モデルを平面で切断していき断面データを求めていく。断面データを求める方法は断面モード処理で説明したのと同様である。そして、ステップ1107で求められた断面データが欠損があるかどうか、即ち閉じてない断面であるかどうかを判断し、欠損がある場合はステップ1109で断面データを修復する。この修復処理については後に詳述する。

【0119】立体モデルのZ軸方向の高さ分の切断面の全てについて以上の処理が終わると、ステップ113に

おいて修復した断面データを含めて断面データをつなぎ合わせて立体モデルデータを復元して処理を終了する。

(3-6-1) 断面データの修復処理

次に、ステップ1109における断面データの修復処理について説明する。ここでは断面データの欠損のある部分近傍の形状のみから断面データの修復を行う。つまり、例えば図42(a)(b)に示す断面データにおいて欠損部分は立体モデルにおいて同じ欠損部分の一部であるとする。もし、欠損部分から離れた箇所を考慮にいれて欠損部分の補完を行うことにすると、(a)(b)の修復結果はかなり異なるものとなる。つまり、欠損部分近傍のみを考慮すると両者はかなり近い修復結果を得ることができる。

【0120】図43に断面データの修復処理を要するフローチャートを示す。また、欠損のある断面データの例として図44(a)に示すような断面データを修復するものとする。図44(a)の断面データは、2本の線分(P0,0, P0,1, ..., P0,N)と(P1,0, P1,1, ..., P1,N)より構成されており、点P0,0, P1,0間および点P0,N, P1,N間が欠損部分である。まず、ステップ1202で端点が最も近い点の組、即ち、欠損部分を構成する端点の組を求める。図44(a)の例では、(P0,0, P1,0)の組と、(P0,N, P1,N)の組が求め\*

$$C(i) = \{P_0^i, P_1^i\} \quad i = 1, 2, \dots, N$$

ただし

$$A = \begin{pmatrix} \frac{-(1-\alpha)^2}{\alpha} & \frac{(1-\alpha)+\alpha\beta}{\alpha} & \frac{-(1-\alpha)^2\alpha\beta}{\alpha} & \frac{\beta^2}{1-\beta} \\ \frac{2(1-\alpha)^2-2(1-\alpha)-\alpha\beta}{\alpha} & \frac{2(1-\alpha)-\alpha\beta}{\alpha} & \frac{2(1-\alpha)\beta(1-2\alpha)}{\alpha} & \frac{-\beta^2}{1-\beta} \\ \frac{-(1-\alpha)^2}{\alpha} & \frac{-(1-2\alpha)}{\alpha} & \frac{0}{\alpha} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$[G]^T = [P_0, P_1, P_2, P_3]$$

$$\alpha = \frac{|[P_1]-[P_0]|}{|[P_2]-[P_1]| + |[P_1]-[P_0]|}$$

$$\beta = \frac{|[P_2]-[P_1]|}{|[P_3]-[P_2]| + |[P_2]-[P_1]|}$$

【0124】これにより、P1, P2間を滑らかに繋ぐ曲線が図44(b)のように得られることになる。その後、ステップ1206で、全ての欠損部分の処理が完了したか否かを判断され、全ての欠損部分の処理が完了していればステップ1207でステップ1205で求めた曲線上に図44(b)に示すように適当な数点を復元する。それから、ステップ1208で復元した点群を含めて断面の輪郭を再構成することで断面データを修復す

\*られる。ここで、P0,0, P1,0をP1, P2, P0,N, P1,NをP5, P6と表しておく。

【0121】次に、ステップ1203で線分の長さを算出し、ステップ1204でこの長さを基準に修復のための基準長さを求める。ここでは、端点から端点の長さの1/5の長さを修復のための基準長さとする。そして、欠損部分を構成する端点からこの基準長さだけ離れた距離にある点を代点とし、この代点を適当な補完処理により求める。図44(a)では、代点として例えば、P0, P3, P4, P6が求められる。

【0122】それから、ステップ1205で、ステップ1202で求めた端点の組と、ステップ1204で求めた各端点から得られる代点を滑らかに通過する曲線を求める。ここでは曲線を求める方法として一般ブレンディング法を用いる。具体的には、例えば、図44(a)の端点の組P1, P2と、この端点から得られる代点P0, P3を通る滑らかな曲線は次のようにして求めることができる。即ち、点P0, P1, P2, P3が位置ベクトルとして与えられたとして、4点を通る曲線上の座標ベクトルC(t) (0 ≤ t ≤ 1) は一般ブレンディング法により次式で与えられる。

$$[0123] \quad \text{【数12】}$$

る。これにより、図44(a)の断面データは図44(c)のように修復されることになる。このように、修復モード処理では、立体モデルデータに欠損部分があったとしても極めて容易に欠損部分を修復することができる。なお、ここでは、切断平面の法線方向を基準平面によりマニキュアルで指定するようにしたが、これは立体モデルのシンニング等の処理により自動的に求めるようにしてもよい。また、ここでは、各切断面は同じ法線方向を持つ



【図8】実施の形態に係る3次元形状データ処理装置のメインのフローチャートである。  
【図9】メジャーリング処理を示すフローチャートである。  
【図10】メジャーリング処理操作パネルを示す図である。  
【図11】基準物体表示処理を示すフローチャートである。  
【図12】基準物体移動・回転処理を示すフローチャートである。  
【図13】回転・移動入力パネルを示す図である。  
【図14】切断モード処理を示すフローチャートである。

【図15】(a)は断面データ計算処理を示すフローチャートであり、(b)は線分のつなぎ合わせ処理を示すフローチャートである。  
【図16】交点同士の連結処理を示すフローチャートである。

【図17】線分別の連結処理を示すフローチャートである。  
【図18】(a)は基準平面がポリゴンメッシュを切断する状態の例を示す図であり、(b)は基準平面とポリゴンメッシュとの交点の例を示す図である。

【図19】(a)は一つのポリゴンメッシュで形成される交点の例を示す図であり、(b)は(a)で示す交点同士を結んだ状態を示す図であり、(c)は(b)で示す線分を連結した状態を示す図である。

【図20】(a)は切断面の輪郭長の計算方法を説明するための図であり、(b)は切断面の面積の計算方法を説明するための図である。

【図21】距離モード処理を示すフローチャートである。  
【図22】選択用パネルを示す図である。

【図23】(a)はキャンパスに断面が表示されている状態を示す図であり、(b)は(a)の断面の輪郭から始点と終点を選択した状態を示す図であり、(c)は(b)の始点と終点に対する通過点を選択した状態を示す図である。

【図24】(a)はビューワーに立体モデルが表示されている状態を示す図であり、(b)は(a)に表示されている立体モデルから始点、終点、通過点を指定した状態を示す図であり、(c)は指定した3点と通る基準平面が表示された状態を示す図であり、(d)は(c)の基準平面で規定されるキャンパスの画像を示す図である。

【図25】経路長測定処理を示すフローチャートである。  
【図26】(a)はビューワー上の立体モデルから4点を指定した状態を示す図であり、(b)は(a)で指定した4点の内の3点から得られる経路を示す図であり、

(c)は(a)で指定した4点の内の(b)とは異なる3点から得られる経路を示す図である。  
【図27】(a)はN点モード時に一つのポップアップメニューを示す図であり、(b)はN点モード時に他のポップアップメニューの一つを示す図である。  
【図28】曲面モード処理を示すフローチャートである。  
【図29】(a)は空間周波数で規定される範囲に含まれる曲面を示す図であり、(b)は(a)で示す曲面を平滑化した状態を示す図である。  
【図30】空間周波数の基準値計算処理を示すフローチャートである。

【図31】曲面モード処理用パネルを示す図である。  
【図32】(a)は高い空間周波数に設定した場合の特徴量の計算に用いる変数を示す図であり、(b)は低い空間周波数に設定した場合の特徴量の係数に用いる変数をしめす図である。

【図33】曲率の法線により規定される座標系を示す図である。  
【図34】曲面の特徴量の計算処理を示すフローチャートである。  
【図35】(a)は基準平面の面積から立体モデルへの投影を示す図であり、(b)は立体モデルの基準平面から投影された領域をキャンパス上に示した図である。

【図36】テクスチャマッピング処理を説明するための図である。  
【図37】直交座標系上の立体モデル表面と極座標系の球面とのマッピングを説明するための図である。

【図38】テクスチャマッピング処理を示すフローチャートである。

【図39】空間周波数から得られる領域の領域を球面内とした場合の特徴量を算出するための変数を示す図である。  
【図40】(a)は欠損の無い立体モデルを断面データに分解した後に再び立体モデルを再現する手順を示す図であり、(b)は欠損のある立体モデルを断面データに分解修復した後に立体モデルを再現する手順を示す図である。

【図41】修復モード処理を示すフローチャートである。  
【図42】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は(a)と同じ欠損を持ち、かつ、輪郭の形状が大きく異なる断面データの一例を示す図である。

【図43】断面データ修復処理を示すフローチャートである。  
【図44】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

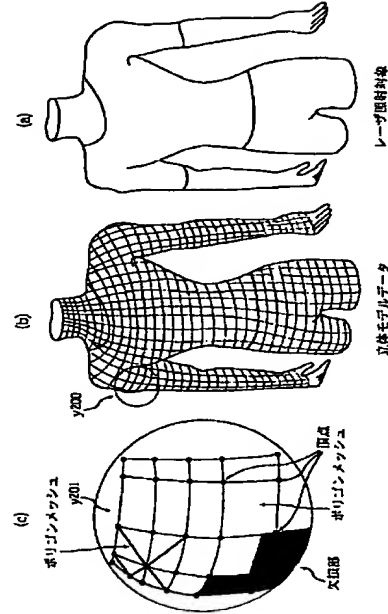
(17) 特開平11-134518  
【図39】空間周波数から得られる領域の領域を球面内とした場合の特徴量を算出するための変数を示す図である。  
【図40】(a)は欠損の無い立体モデルを断面データに分解した後に再び立体モデルを再現する手順を示す図であり、(b)は欠損のある立体モデルを断面データに分解修復した後に立体モデルを再現する手順を示す図である。

【図41】修復モード処理を示すフローチャートである。  
【図42】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は(a)と同じ欠損を持ち、かつ、輪郭の形状が大きく異なる断面データの一例を示す図である。

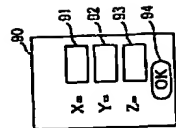
【図43】断面データ修復処理を示すフローチャートである。  
【図44】(a)は欠損のある断面データの一例を示す図であり、(b)は欠損部分部分を曲線で補完した状態を示す図であり、(c)は(a)の断面データを修復した状態を示す図である。

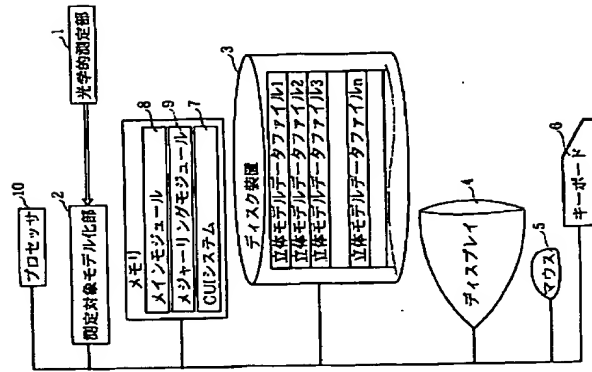
- 20
- 【符号の説明】
- 1 光学的測定部
  - 2 測定対象モデル化部
  - 3 ディスク装置
  - 4 ディスプレイ
  - 5 マウス
  - 6 キーボード
  - 7 GUIシステム
  - 8 メインモジュール
  - 9 メジャーリングモジュール
  - 10 プロセッサ

【図2】

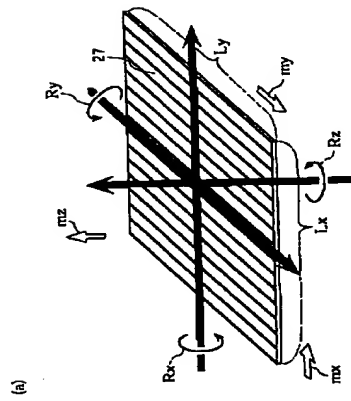


【図13】





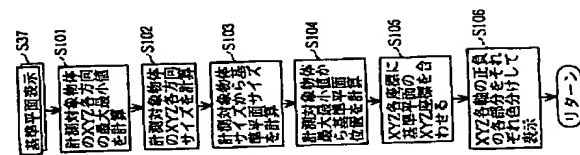
**【9】**



(g)

基準平面データ	
法線ベクトル(p,q,r)	
通過座標(Xa,Ya,Za)	
縦幅Lx	横幅Ly

【图 11】

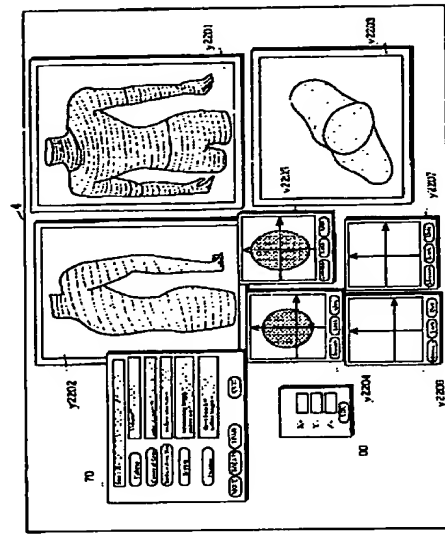


【☒3】

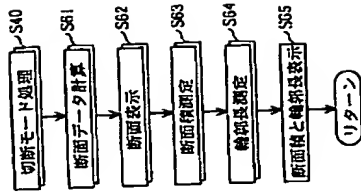
ポリゴンメッシュリスト 立体モデルデータ

1250 1280		=	
頂点No.1	座標 No.1	No.2	No.1
頂点No.2	座標 No.2	No.2	No.3
頂点No.3	座標 No.3	No.2	No.4
頂点No.4	座標 No.4	No.3	No.4
頂点No.5	座標 No.5	No.3	No.4
頂点No.6	座標 No.6	No.4	No.5
.....			
3面 No.1249		No.40	No.1
面No.1	座標No.1	(0.951807, 2.350115, 0.208324)	
面No.2	座標No.2	(-0.356732, 2.459620, -0.093600)	
面No.3	座標No.3	(1.211807, -2.332231, 0.208324)	
面No.4	座標No.4	(1.461807, -2.271347, 0.208315)	
.....			

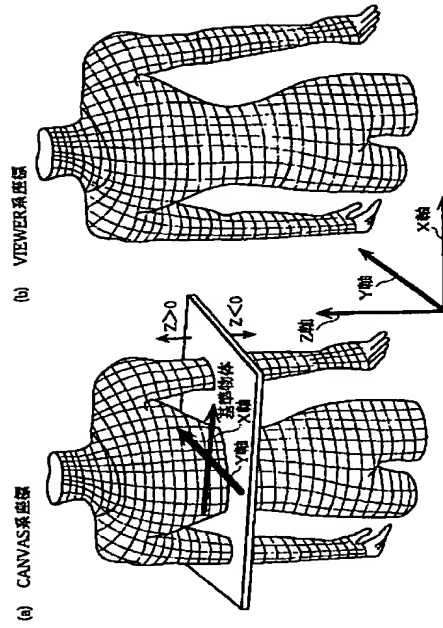
【图4】



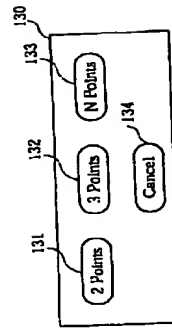
【图 14】



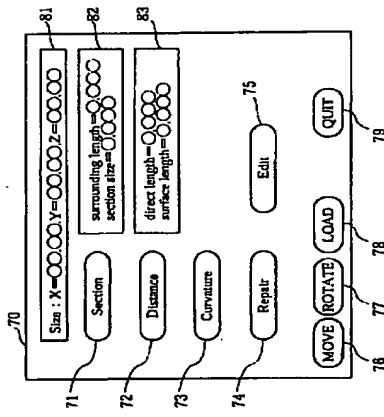
【图5】



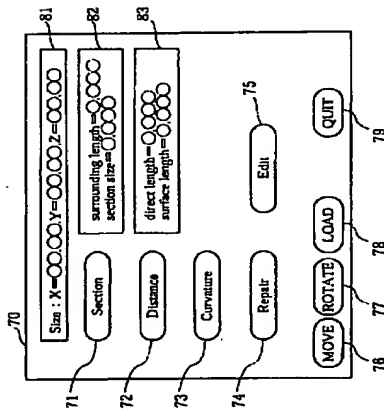
【图22】



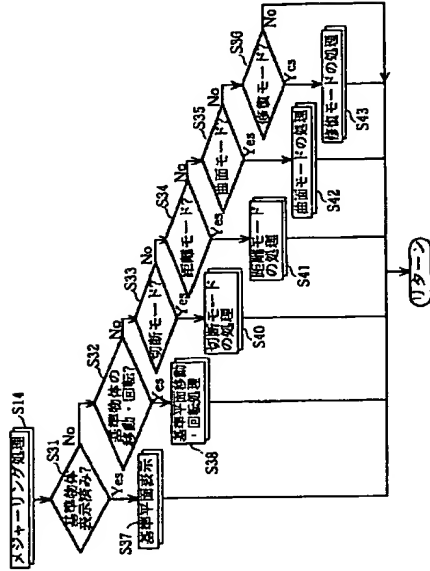
【例7】



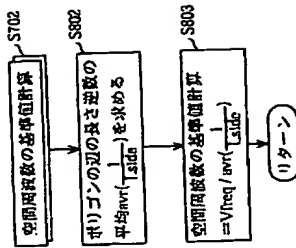
**【018】**



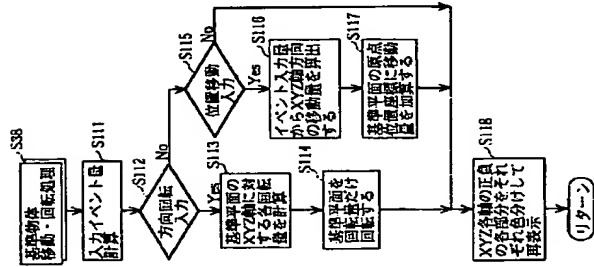
【B】



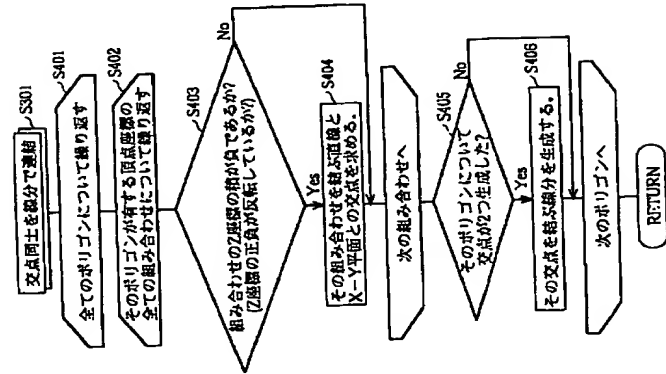
【030】



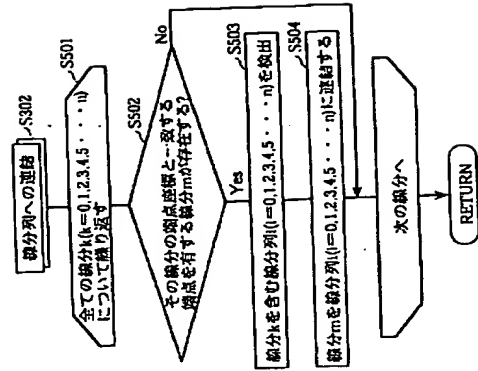
【☒12】



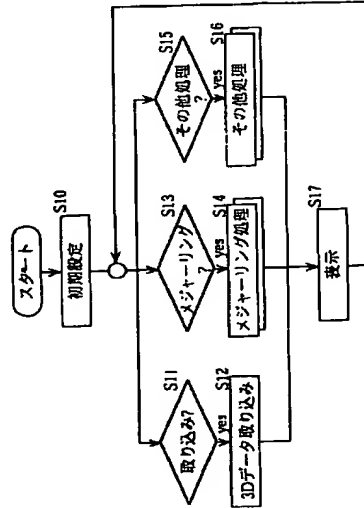
【图16】



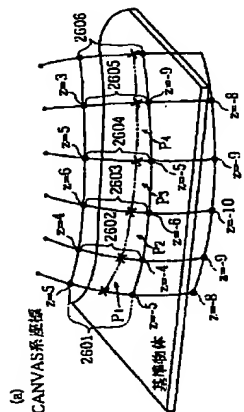
【图17】



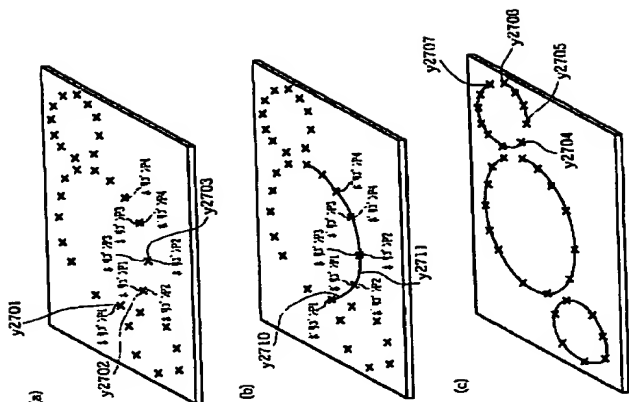
【8】



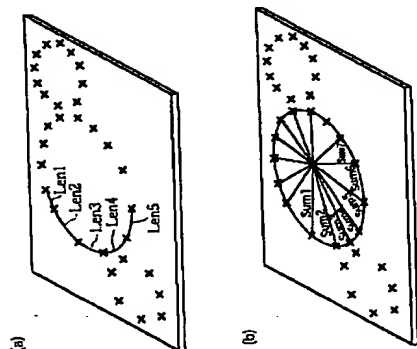
【図18】



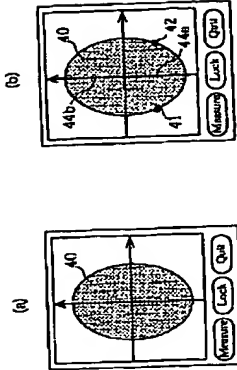
【図19】



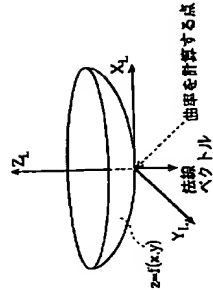
【図20】



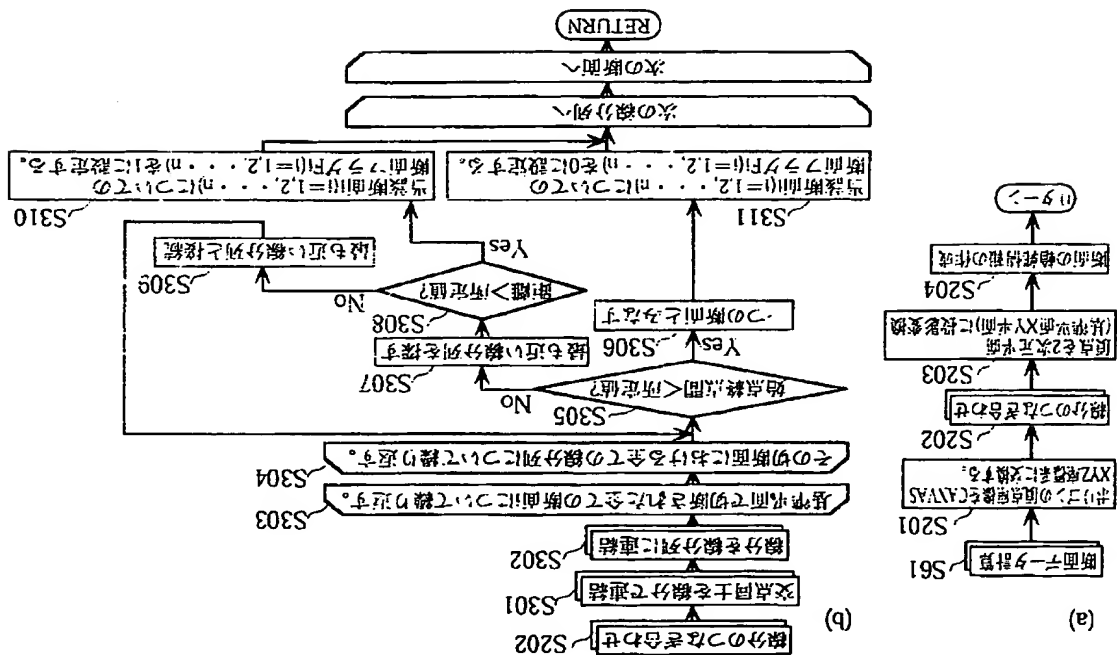
【図23】



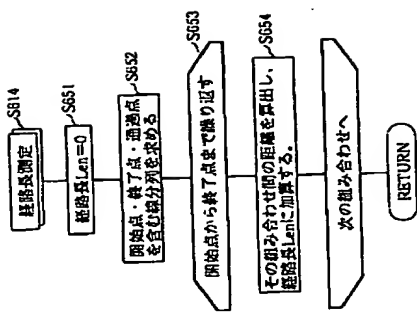
【図33】



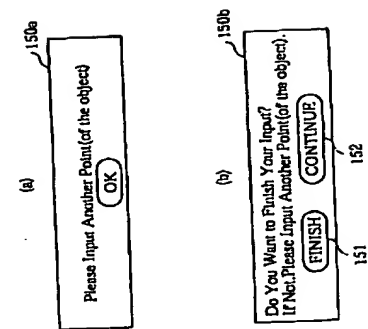
【図15】



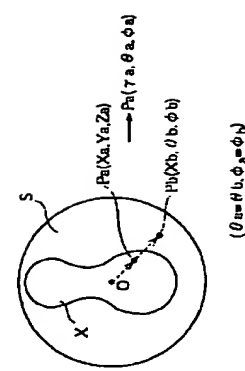
【図25】



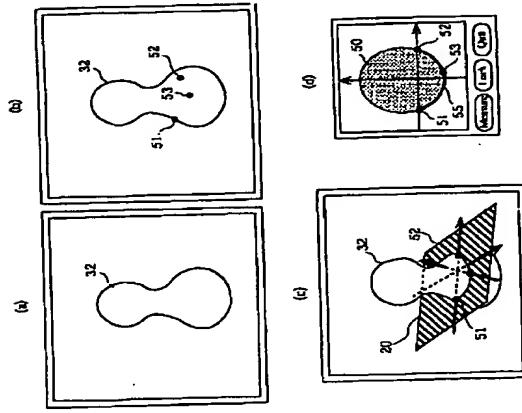
【図27】



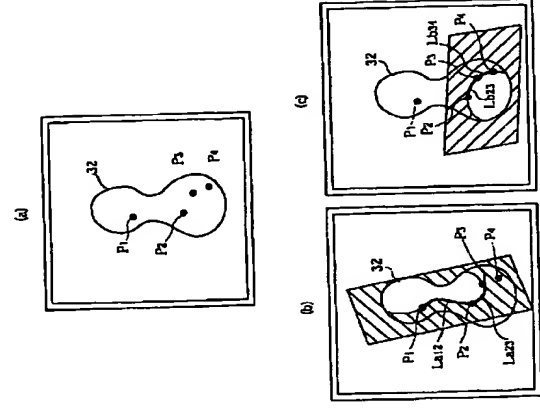
【図37】



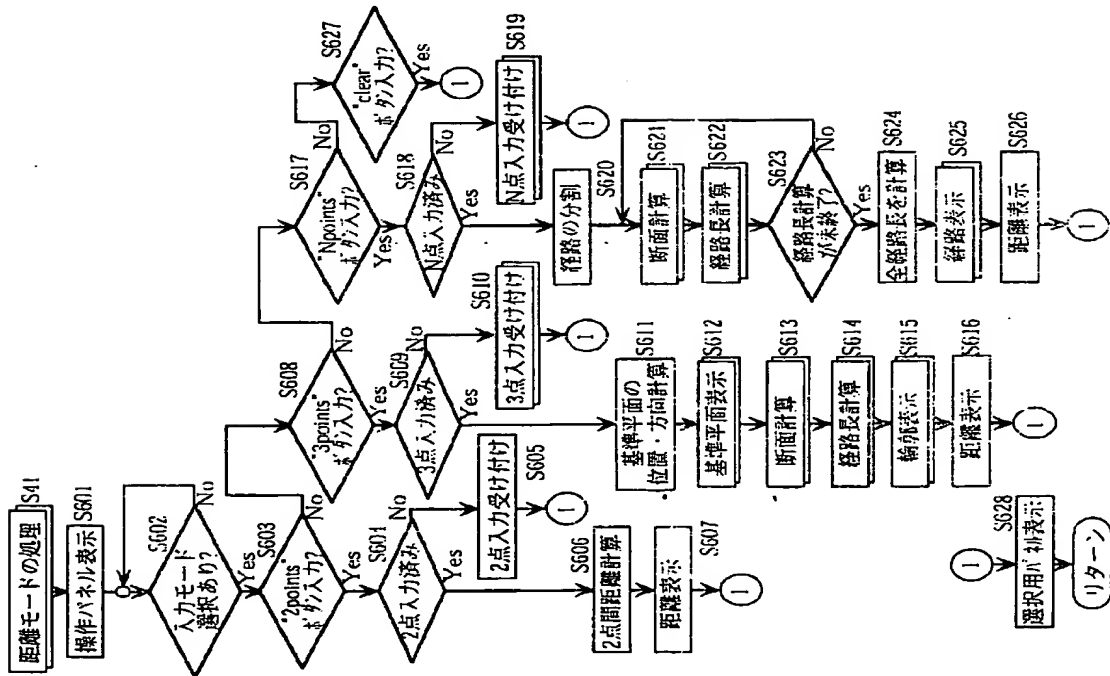
【図24】



【図26】

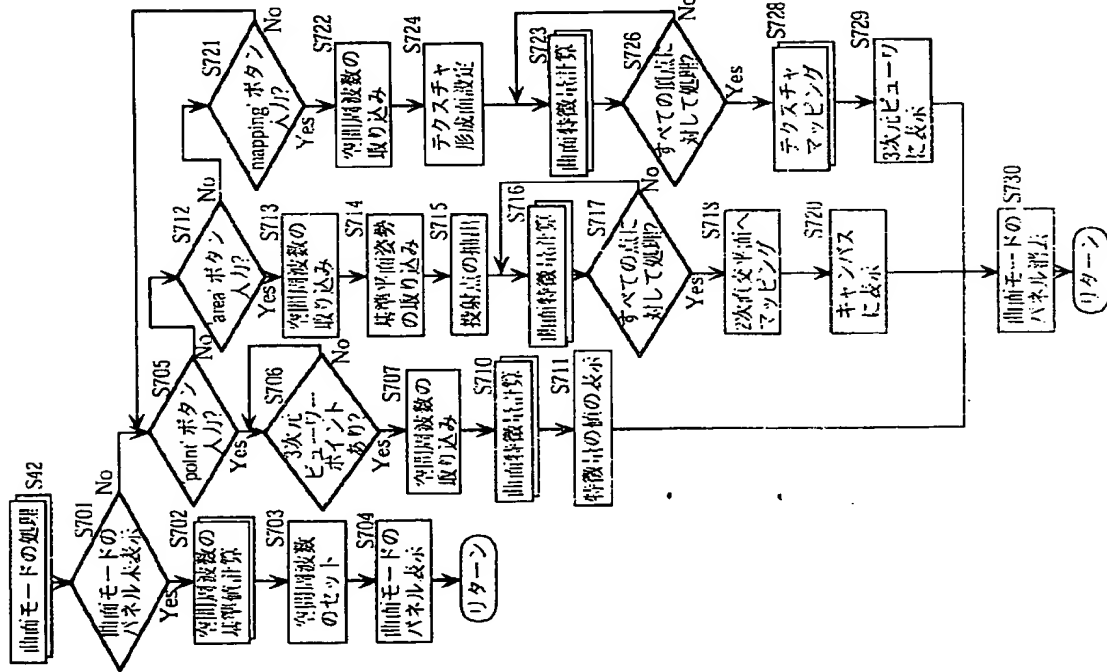


【図21】

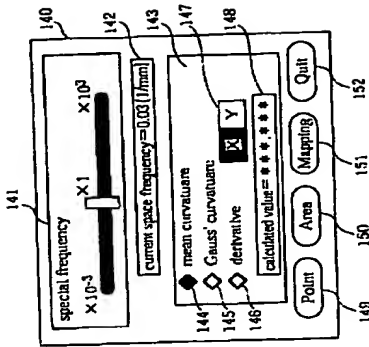




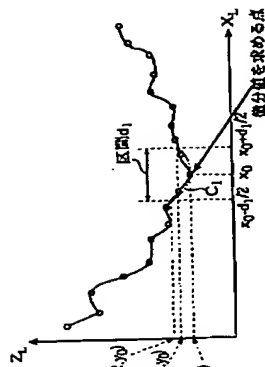
【図28】



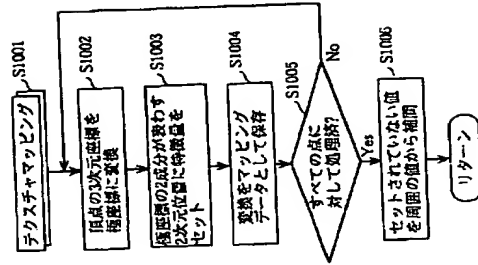
【図31】



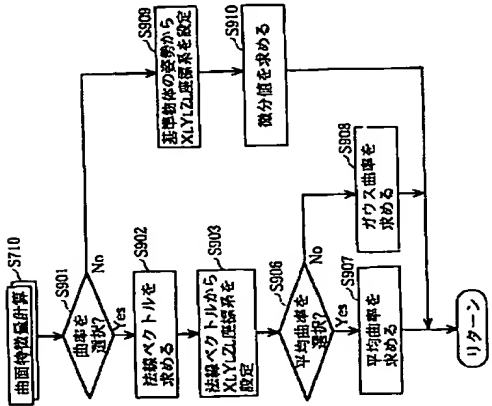
【図32】



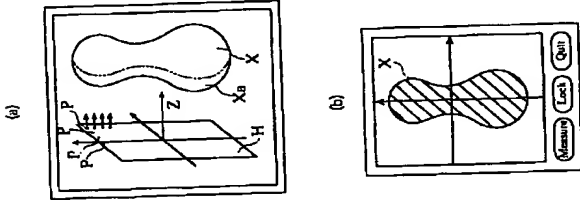
【図38】



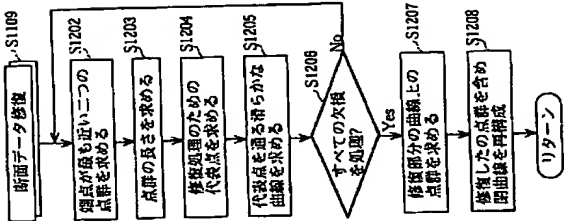
【図34】



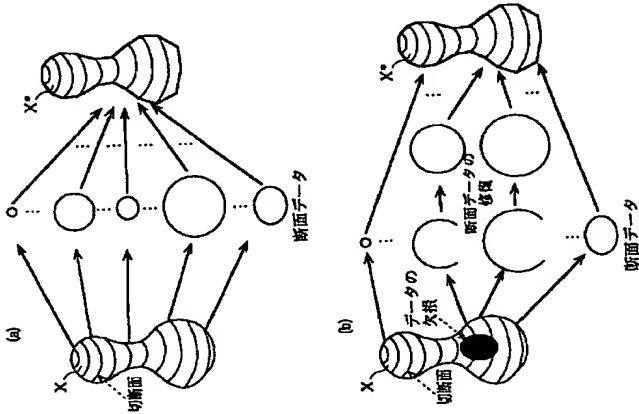
【図35】



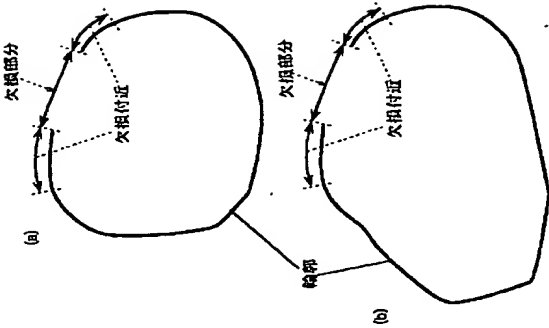
【図36】



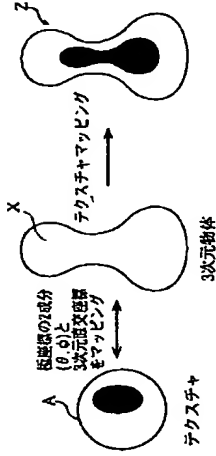
【図40】



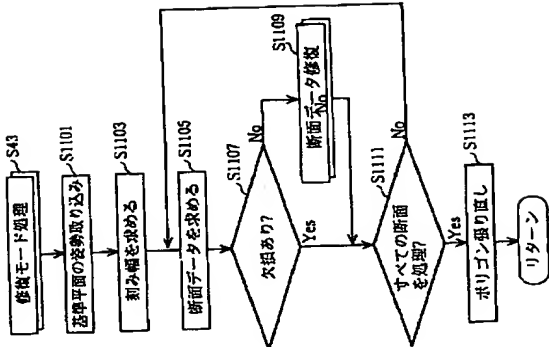
【図42】



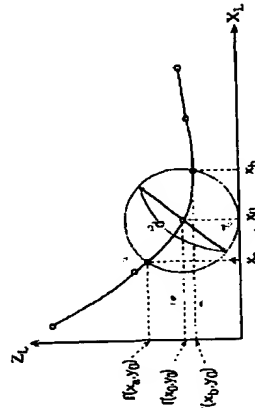
【図36】



【図41】



【図39】



【図44】

